

УДК 621.9.048.4

**В. М. Боков, проф., канд. техн. наук, О. В. Павленко, магістрант**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Розмірна обробка дугою монолітних пуансонів

Запропоновано та розроблено новий високопродуктивний спосіб розмірної обробки дугою монолітних пуансонів та отримано математичні моделі його технологічних характеристик.

**електрична дуга, торцевий міжелектродний зазор, гідродинамічний потік, багатозонне пряме прокачування, монолітний пуансон, технологічна схема формоутворення, технологічні характеристики процесу**

У сучасному машинобудуванні використовуються штампи, переважно послідовної дії, з монолітним пуансоном. Під монолітним пуансоном розуміється група пуансонів, що виконана із одного шматка металу (із однієї плити) разом з пуансонотримачем. Така конструкція пуансона значно підвищує жорсткість штампа, а отже, сприяє підвищенню його стійкості [1, с. 382-385].

Для виготовлення монолітних пуансонів принципово можуть використовуватися як методи механічної обробки, так і методи електроерозійної обробки. Використання методів механічної обробки суттєво обмежено механічною міцністю різального інструменту, фізичними властивостями матеріалу, що обробляється та геометричними параметрами монолітного пуансона.

Сучасним методом виготовлення монолітних пуансонів є електроерозійна обробка, зокрема електроімпульсна обробка. При електроімпульсній обробці енергія в зону обробки підводиться порціями, а процес супроводжується відносно великими паузами. Саме тому електроімпульсна обробка монолітних пуансонів мало-продуктивна.

Одним із самих високопродуктивних способів електроерозійної обробки є спосіб РОД – розмірна обробка електричною дугою, при реалізації якого енергія в зону обробки підводиться безперервно. Спосіб РОД принципово дозволяє отримати монолітний пуансон, однак процес обробки групи стержнів монолітного пуансона здійснюється послідовно (по одному стержню за один хід інструмента) з прокачуванням робочої рідини крізь отвір в електроді-інструменті [2]. Саме тому цикл обробки монолітного пуансона дуже значний, бо складається із циклів обробки кожного стержня. Крім того, при цьому спостерігається значне погіршення точності обробки (точності взаємного розташування стержнів).

Очевидно, суттєве зменшення циклу обробки та підвищення її точності може бути досягнуто при одночасній РОД стержнів монолітного пуансона. Перші експериментальні спроби одночасної РОД стержнів з використанням прямого багатоканального прокачування робочої рідини [3, с. 26] показали, що між суміжними стержнями у торцевому міжелектродному зазорі утворюються застійні зони (рис. 1), де швидкість робочої рідини суттєво зменшується, а в деяких точках досягає нульового рівня. У цих зонах горять не стиснуті електричні дуги, тобто дуги з підвищеною довжиною стовпа, бо, як відомо [4], довжина стовпа дуги обернено пропорційна швидкості потоку робочої рідини. Не стиснуті дуги за своїми технологічними можливостями ближче до зварювальних, а тому не можуть вести розмірну обробку. В наслідок цього у застійних зонах накопичуються продукти ерозії, виникають короткі замикання, підвищується шорсткість обробленої поверхні. Продуктивність обробки суттєво зменшується, бо процес дестабілізується і може зовсім припинитися. Це явище

прогресує при підвищенні кількості стержнів монолітного пуансона, що одночасно обробляються.

Таким чином, для стабілізації процесу РОД монолітних пуансонів треба забезпечити такі умови вилучення робочої рідини разом з продуктами ерозії із торцевого міжелектродного зазору, при яких застійні зони не утворюються.

В цьому зв'язку певний науковий та практичний інтерес представляють два способи прокачування робочої рідини в торцевому міжелектродному зазорі:

- спосіб прямого багатозонного прокачування з видаленням робочої рідини разом з продуктами ерозії крізь технологічні щілини, що розташовані між стержнями в монолітному пуансоні [3, с. 235]. Експериментальна перевірка даного способу прокачування показала, що процес успішно реалізується, але технологічні щілини суттєво зменшують міцність монолітного пуансона, бо є концентраторами напружень, що недопустимо при експлуатації штампа. Крім того, виникають суттєві труднощі виготовлення щілин в твердосплавному монолітному пуансоні;

- спосіб прямого багатозонного прокачування з видаленням робочої рідини разом з продуктами ерозії крізь технологічні щілини, що розташовані між отворами в електроді-інструменті (рис. 2). Даний спосіб не має вад попереднього, а тому є об'єктом дослідження даної статті.

Метою роботи є експериментальне дослідження технологічних характеристик запропонованого способу РОД монолітних пуансонів з використанням вказаного вище способу прокачування.

Методика дослідження технологічних характеристик процесу РОД монолітних пуансонів передбачала будівництво їх математичних моделей. В якості факторів використовувалися: сила технологічного струму  $I$  ( $X_1$ ), статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_{ст}$  ( $X_2$ ), кількість одночасно отриманих стержнів монолітного пуансона  $K$  ( $X_3$ ). В якості робочої рідини використовувалося органічне середовище. Полярність обробки – зворотна. Матеріал електрода-заготовки – сталь У10А, загартована. Матеріал електрода-інструмента – графіт МПГ-7. Використовувався факторний план  $2^3$  (таблиця 1).

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту

Фактор				$I$ , А	$P_{ст}$ , МПа	$K$ , шт.	$M$ , мм <sup>3</sup> /хв	$M_{ав}$ , (мм <sup>3</sup> ·А)/хв	$a$ , (кВт·год)/кг	$Ra$ , мкм	$\delta_B$ , мкм	$\gamma_L$ , %
Основний рівень ( $X_{i0}$ )				100	1,2	3						
Інтервал варіювання ( $\Delta X_i$ )				50	0,4	1						
Верхній рівень ( $X_i = +1$ )				150	1,6	4						
Нижній рівень ( $X_i = -1$ )				50	0,8	2						
Код				$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$
Номер досліду	1	Порядок реалізації	6	+	+	+	549	6,10	13,92	19	0,10	0,49
	2		2	-	+	+	193	6,43	13,20	6,3	0,15	0,96
	3		5	+	-	+	762	8,46	10,03	20	0,15	0,36
	4		1	-	-	+	110	3,67	23,16	9,4	0,15	0,85
	5		7	+	+	-	937	10,41	8,15	23	0,15	0,99
	6		8	-	+	-	203	6,77	12,55	7,9	0,15	0,90
	7		3	+	-	-	826	9,18	9,25	22	0,25	0,76
	8		4	-	-	-	100	3,33	25,48	9,4	0,20	0,41
Досліди у центрі плану			1	0	0	0	470	7,83	10,84	14,6	0,15	0,74
			2	0	0	0	458	7,63	11,12	14,7	0,17	0,70
			3	0	0	0	390	6,33	13,40	14,4	0,15	0,77
			4	0	0	0	380	6,66	12,73	14,5	0,17	0,68

Значення факторів у кодовому ( $x_i$ ) та натуральному ( $X_i$ ) масштабах зв'язані співвідношеннями:

$$x_1 = \frac{X_1 - 60}{30}; \quad x_2 = \frac{X_2 - 1,2}{0,4}; \quad x_3 = \frac{X_3 - 3}{1}.$$

В результаті експериментальних досліджень:

- отримано математичну модель *продуктивності процесу* РОД монолітних пуансонів  $M$  (рис. 3). Показано, що найбільший вплив на  $M$  виявляє сила технологічного струму  $I$ , із підвищенням якої продуктивність обробки збільшується (рис. 4). Останнє підтверджує теплову природу РОД. Вплив фактора  $K$ , який характеризує кількість стержнів монолітного пуансона, що одночасно обробляються, значно менший, але має істотне значення. Із підвищенням  $K$  продуктивність обробки зменшується. Показано, що статичний тиск робочої рідини на вході потоку в міжелектродний зазор  $P_{cm}$  на продуктивність обробки монолітних пуансонів зовсім не впливає. В умовах експерименту продуктивність обробки монолітних пуансонів змінювалася у межах від 100 до 937 мм<sup>3</sup>/хв., що в 1,2 – 2,3 рази більше порівняно з продуктивністю електроімпульсної обробки;

- отримано математичну модель *питомої продуктивності процесу* РОД монолітних пуансонів  $M_a$  (рис. 3). Показано, що питома продуктивність обробки монолітних пуансонів не залежить від статичного тиску робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_{cm}$  та кількості стержневих виступів на монолітному пуансоні  $K$ , а повністю визначається силою технологічного струму  $I$ . Причому, із підвищенням  $I$  питома продуктивність обробки збільшується. В умовах експерименту питома продуктивність обробки монолітних пуансонів змінювалася у межах від 3,33 до 10,41 мм<sup>3</sup>/А·хв.

- отримано математичну модель *питомої витрати електроенергії*  $a$  (рис. 3). Виявлено, що найбільший вплив на  $a$  виявляє сила технологічного струму  $I$ , із підвищенням якої питома витрата електроенергії зменшується. Таким чином, силу технологічного струму треба розглядати як головний керуючий фактор. Вплив статичного тиску робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_{cm}$  трохи менший, але має істотне значення. Із підвищенням  $P_{cm}$  питома витрата електроенергії зменшується. Показано, що фактор  $K$ , який визначає кількість стержневих виступів на монолітному пуансоні, що одночасно обробляються, не впливає на питому витрату електроенергії. В умовах експерименту питома витрата електроенергії при РОД монолітних пуансонів змінювалася у межах від 8,15 до 25,48  $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}$ ;

- отримано математичну модель *шорсткості бічної поверхні*  $R_a$  монолітного пуансона після РОД (рис. 3). Показано, що найбільший вплив на  $R_a$  виявляє фактор  $K$ , що характеризує кількість стержнів монолітного пуансона, що одночасно обробляються, причому, із підвищенням  $K$  шорсткість зменшується. Останнє пояснюється тим, що із підвищенням  $K$  зменшуються розміри одиничної зони прокачування, а отже зменшується гідравлічний опір течії робочої рідини в торцевому зазорі в кожній зоні. Це приводить до підвищення середньої швидкості потоку в торцевому зазорі, більшого стиснення електричної дуги, зменшення розмірів одиничної лунки, а отже до зменшення шорсткості поверхні після РОД. Фактор  $K$  треба розглядати як головний, керуючий. Вплив сили технологічного струму  $I$  трохи менший, але має істотне значення. Із підвищенням  $I$  шорсткість поверхні після РОД збільшується. Найменший вплив на шорсткість поверхні після РОД виявляє статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_{cm}$ , причому із підвищенням  $P_{cm}$

шорсткість зменшується. В умовах експерименту шорсткість поверхні після РОД змінювалася у межах від  $Ra_{6,3}$  до  $Ra_{23}$ . Показано, що подальше зменшення шорсткості поверхні монолітних пуансонів після РОД пов'язано з технічними можливостями експериментального верстата в плані зменшення сили технологічного струму та підвищення статичного тиску робочої рідини на вході в міжелектродний зазор;

- отримано математичну модель *бічного міжелектродного зазору* (рис. 3). Показано, що обидва фактора  $P_{ст}$  та  $K$  виявляють однакову ступінь впливу на  $\delta_B$ , причому із збільшенням їх міжелектродний зазор зменшується, а сила технологічного струму на  $\delta_B$  не впливає. В умовах експерименту бічний міжелектродний зазор змінювався у межах від 0,10 до 0,25 мм\$

- отримано математичну модель *відносного лінійного зносу графітового електрода-інструмента*  $\gamma_L$  (рис. 3), із якої витікає, що  $\gamma_L$  залежить від трьох факторів, а саме  $P_{ст}$ ,  $I$  та  $K$ . Встановлено, що найбільший вплив на відносний лінійний знос електрода-інструмента виявляє статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_{ст}$ , із збільшенням якого  $\gamma_L$  збільшується. Фактор  $P_{ст}$  треба розглядати як головний, керуючий. Вплив сили технологічного струму  $I$  значно менший, але має суттєве значення. Із підвищенням  $I$  лінійний знос зменшується. Найменший вплив на відносний лінійний знос електрода-інструмента виявляє фактор  $K$ , що характеризує кількість стержнів монолітного пуансона, що одночасно обробляються. Із підвищенням  $K$  лінійний відносний знос електрода-інструмента зменшується. В умовах експерименту відносний лінійний знос графітового електрода-інструмента змінювався у межах від 0,36 до 0,99 %.

Із аналізу отриманих математичних моделей витікає, що спосіб РОД монолітних пуансонів доцільно використовувати при великій площі обробки в плані, яка може сягати декілька тисяч мм<sup>2</sup>. Саме за таких умов можна досягнути високої продуктивності обробки, малого відносного зносу графітового електрода-інструмента при задовільній якості бічної поверхні.

## Список літератури

1. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил.
2. Электрод-инструмент для изготовления деталей типа стержней: А. с. 148500 СССР, МКИ В 23 Н 1/04. / В. М. Боков, В. И. Носуленко, В. М. Жердый (СССР). - № 4191166/25-08; Заявлено 06.02.87; Опубл. 07.06.89, Бюл. № 21.
3. Боков В. М. Розмірне формування поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
4. Носуленко В. И., Мещеряков Г. Н. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов. – 1981. -№1. – С.19-23.

Предложен и разработан новый высокопроизводительный способ размерной обработки дугой монолитных пуансонов и получены математические модели его технологических характеристик.

Suggested and worked out a new high-efficiency method of dimensional arc treatment of cast punches and received mathematical models of its technological characteristics.